بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده شیمی

گروه شیمی آلی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی آلی

موضوع:

نقش تبادل گرهای یونی در کاهش سختی آب

استاد راهنما:

دکتر نقی سعادت جو

استاد مشاور:

دکترعلی عموزاده

توسط:

اعظم گلشاهی

اسفند 1391

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده

پیشگفتار..... 1

فصل اول- تئوری وکلیات

1-1- لزوم تصفیه آب‌ها..... 3

1-2- شیمی آب سخت..... 5

1-3- کلسیم و منیزیم..... 6

1-4- مضرات آب سخت..... 7

1-4-1- مضرات آب سخت در مصارف صنعتی..... 7

1-4-2- مضرات آب سخت در مصارف عمومی..... 8

1-5- درجه سختی آب..... 8

1-6- نحوه رفع سختی آب..... 8

1-7- نرم کردن آب سخت..... 11

1-8- راسب کردن..... 12

1-9- تبادل یون..... 12

1-10- انواع تبادلگرهای یونی..... 14

1-10-1- تبادلگر بازی..... 14

1-10-2- تبادلگر اسیدی..... 15

1-11- سختی گیر..... 15

1-11-1- دستگاه سختی گیر..... 16

1-11-2- موارد کاربرد سختی گیرها..... 16

1-11-3- مشخصات فنی سختی‌گیرها..... 17

1-12- ستون تبادل یونی..... 17
1-13- تعادل تبادل یونی..... 18
1-14- کروماتوگرافی تبادل یونی..... 18
1-15- مزیت اساسی کروماتوگرافی تبادل یونی..... 20
1-16- ساختار رزین‌ها..... 21
1-17- طبقه بندی رزین‌ها..... 23
1-17-1- رزین های کاتیونی..... 24
1-17-2- رزین های آنیونی..... 24
1-17-3- رزین های تبادل یونی ویژه بستر مختلط..... 25
1-18- ظرفیت رزین..... 25
1-18-1- ظرفیت کلی رزین..... 25
1-18-2- ظرفیت نگه داری رطوبت..... 26
1-18-3- دانسیته بالک..... 26
1-19- احیای رزین..... 26
1-20- برخی از کاربردهای رزین‌ها..... 28
1-21- مواد آلی آب..... 28
1-22- اکسیژن مورد نیاز شیمیایی..... 29
1-23- روش‌های اندازه گیری فاکتورهای آب..... 29
1-23-1- قابلیت هدایت الکتریکی آب..... 29
1-23-2- اندازه گیری سختی..... 30
1-23-3- استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر..... 32
1-23-4- اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی..... 33

فصل دوم- بخش تجربی

2-1- مواد و تجهیزات 34

2-1-1- ستون تبادل یونی 34

2-1-2- بورت دیجیتال جهت اندازه گیری سختی 35

2-1-3- اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(COD) و دستگاه اسپکتروفوتومتر 36

2-1-4- دستگاه هدایت سنج یونی 36

2-1-5- دستگاه اندازه گیری pH 36

2-2- روش آزمایش 37

2-3- تصفیه آب سخت با رزین تبادلگر کاتیونی 37

2-4- کار با رزین پرولایت C-100 (فرم Na^+) 38

2-5- تیتراسیون کمپلکسومتری و واکنش‌ها 41

2-6- تأثیر دمای هوا 42

2-6-1- عبور در روز گرم 42

2-6-2- عبور در روز سرد 43

2-7- روش اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی یا COD 45

2-8- واکنش احیای رزین 46

2-9- تاثیر کاهش pH بر عملکرد رزین 46

2-10- کار با رزین پرولایت C-100 (فرم H^+) 47

2-10-1- تاثیر تغییر pH بر عملکرد رزین 49

2-11- کار با رزین ترکیبی 50

2-12- تاثیر زمان ماند 51

2-13- بازیافت کلسیم و منیزیم از رزین 52

2-14- کار با رزین Amberlite (IR120) (فرم Na^+) 53

2-15- کار با رزین C-100 پرولایت در مقیاس نیمه صنعتی 57
2-16- کار با رزین Auchlite C-20 (فرم Na^+) 59
2-17- سنتز رزین امبرلایت کوپل شده با برلیانت گرین 63
2-18- بررسی یونهای موجود در چند نمونه آب معدنی 66
فصل سوم- نتایج و بحث
3-1- مقایسه عملکرد رزین‌ها 67
3-2- تفسیر جداول و نمودار ها 69
3-2-1- تاثیر سرعت 69
3-2-2- تاثیر دما 69
3-2-3- تاثیر pH 69
3-2-4- بررسی رزین Amberlite 69
3-2-5- تاثیر افزایش حجم و سختی 69
3-3- انتخاب رزین مناسب 70
3-4- استفاده از رزین های عاملی 70
3-5- تهیه رزین های عاملی 73
3-6- بررسی طیف مربوط به عامل دار شدن رزین 75
3-7-بررسی یون های موجود در آبهای معدنی 77
3-8- بحث تکمیلی 78
پیشنهادات 79
منابع 82

چکیده

در این تحقیق، کارکرد سه نوع رزین کاتیونی شامل Na^+ ، H^+ ویک نوع رزین ترکیبی بررسی شده است. به علت استفاده زیاد و روزمره از آب، کیفیت بالای آن مهم است. از یونهای مهم و موثر آب که استفاده صنعتی و خانگی دارد می توان به، یونهای کلسیم و منیزیم اشاره کرد. افزایش بیش از حد کلسیم و منیزیم در آب، آب را به آب سخت تبدیل می‌کند، که منجر به رسوب گذاری در ظرف حاوی آن می‌شود. به همین دلیل کاهش این یونها و رساندن آن به مقدار استاندارد ، مهم است. استفاده از رزین کاتیونی یکی از معمولترین روش هایی است که برای کاهش یونها بکار می‌رود. این رزین‌ها با تعویض یونهای سدیم و هیدروژن با یون‌های کلسیم و منیزیم، سختی آب را کاهش می دهند. البته رزین فرمNa^+ کاربرد بیشتری دارد، چون pH آب را تغییر نمی‌دهد. علاوه بر این تاثیر عوامل مختلف همچون سرعت عبور، دما، زمان و pH بر عملکرد رزین مطالعه شده است. علاوه براین عملکرد رزین ترکیبی، نحوه استخراج یونهای کلسیم و منیزیم از رزین، کارکرد رزین در مقیاس نیمه صنعتی و نحوه عامل دار کردن رزین تعیین شده است. در نهایت کارکرد رزینها با یکدیگر مقایسه گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل مختلف می‌توان گفت که رزین C-100 فرم Na^+ از نظر کارکرد و دانه بندی مناسب‌تر از رزین امبرلایت و رزین آج تل می‌باشد.

تشکر و قدردانی

وظیفه خود می دانم از کلیه کسانی که در این کار مرا یاری نموده اند به ویژه استاد گرامی جناب آقای دکتر نقی سعادتجو که همواره مرا مدیون لطف خود نموده اند، صمیمانه سپاسگذاری کنم.

همچنین از جناب آقای دکتر مهدی تقدیری و سرکار خانم دکتر شمیرانی که با راهنمایی های خود مرا در این کار یاری نموده اند کمال تشکر را دارم.

علاوه بر این از دوستان عزیزم در دانشگاه تهران که مرا یاری رساندند کمال تشکر را دارم.

در این جا لازم است از مسئولین محترم آزمایشگاه سازمان آب تهران، به ویژه جناب آقای داود امیر حسینی و همچنین کارکنان آزمایشگاه که نهایت همکاری را با اینجانب مبذول داشته اند صمیمانه تشکر نمایم.

پیشگفتار

تمام شکل‌های حیات در روی زمین به آب بستگی دارد. آب یکی از اساسی‌ترین مواد تشکیل دهنده بافت‌های بدن می‌باشد و یکی از پایدارترین ترکیباتی است که در طبیعت یافت می‌شود، آب به عنوان ضروری‌ترین عامل حیات و فیزیولوژی بدن شناخته شده است. آب نقش اصلی رساندن مواد غذایی به بافت‌ها و سلول‌ها و همچنین رساندن مواد غذایی اخذ شده از خاک به وسیله ریشه گیاهان را عهده دار است. آب را بایستی به عنوان یک سرمایه به حساب آورد. تا چند سال پیش مهمترین سرمایه ملی کشورها انرژی بود، اما در آینده ای نه چندان دور آب را با نفت معاوضه خواهند کرد. برای اینکه این تصور از آینده زیاد دور از ذهن نباشد کافی است به این نکته توجه کنیم که برای انرژی، بجز نفت، جایگین‌های نه چندان ارزان‌تر در دسترس بشر است اما جایگزینی امروزه برای آب وجود ندارد. اگر چه بخش اعظم کره زمین را آب گرفته ولی به لحاظ کمی و کیفی و همچنین قابلیت دسترسی در زمان ومکان مورد نیاز، محدودیت‌های فراوانی وجود دارد. رشد سریع جمعیت به ویژه در بین کشورهای در حال توسعه، از یک طرف سبب تقاضای بیشتربرای آب جهت انواع مصارف مصارف کشاورزی، شرب و صنعت شده و از طرف دیگر باعث توسعه روند آلوده سازی منابع آب، آب‌های سطحی و محیط زیست گشته است. لزوم دسترسی به منابع آب جدید، از بزرگترین مشکلات بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌باشد. بایستی توجه کرد که 97٪ از کل حجم آب‌های موجود، در دریاها و اقیانوس‌ها متمرکزند که این آب‌ها شور می‌باشند.

از 3٪ باقیمانده، بیش از 68٪ آن به صورت یخ و یخچال‌های طبیعی در مناطق قطبی تجمع یافته اند. از مقدار

باقیمانده نیز بخش زیادی در اعماق زمین بوده که استخراج آن مشکل می‌باشد. منابع آب شیرین مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها فقط 93100 کیلومتر مکعب است که تنها یک قسمت از هفتصد قسمت از کل آب را شامل می‌شود.

روش‌های گوناگونی در تصفیه آب استفاده شده اند. این روش‌ها را می‌توان به سه دسته کلی روش‌های شیمیایی، روش‌های مکانیکی وروش‌های میکروبیولوژیکی تقسیم کرد. از جمله روش‌های نوین در تصفیه آب ها، تصفیه به کمک جذب سطحی، تصفیه با رزین‌های تبادل گر یونی وروش‌های غشایی مانند الکترودیالیز و اسمز معکوس و روش جدیدتر اکسایش پیشرفته، را می‌توان نام برد.

فصل اول

تئوری وکلیات

1-1- لزوم تصفیه آب‌ها:

آب یکی از فراوان‌ترین مواد موجود در کره زمین است ویگانه ماده ای است که به صورت طبیعی در شکل‌های جامد(یخ)، مایع وگاز(بخار آب) وجود دارد. آشامیدن ورفع نیازهای فردی نخستین نگرش فرد به آب بوده است.

تاریخچه استفاده از آب و مهندسی آب به زمان باستان و ایجاد نخستین گروهی بشر باز می‌گردد. نخستین شهرها در تمدن باستان در کنار رودخانه‌ها ودریاچه تشکیل شد، روش‌های آب رسانی وآبیاری به وجود آمد که در این میان دسترسی به منابع آب اهمیت ویژه ای برای حیات بشر از دو دیدگاه کمی وکیفی داشته است. انسان‌ها در ابتدا بیشتر به کمیت آب توجه داشتند هر چند که در آن عصر آب‌های موجود از کیفیت نسبتا بالایی برخوردار بوده اند و آلودگی‌های ناشی از رشد صنعت و غیره وجود نداشت [1].

با توجه به کمبود منابع آب، ارزش این ماده حیاتی در ایران زمین شناخته شده بود. هرودوت و گزنفون در این باره قلم فرسایی نموده‌اند که ایرانیان هیچ چیز آلوده و کثیفی را در آب نمی‌ریزند ودر پاک نگاه داشتن آب و خاک مراقبت می‌نمایند.

ساخت کانال‌های آبیاری در شش هزار سال پیش و طراحی قنات‌ها و ساخت آن در سه هزار سال پیش نشان دهنده اهمیت این ماده ارزشمند وتوانمندی ایرانیان در مهندسی و طراحی امور آب بوده است. در عصر جدید نیز ارائه خواص فیزیکی آب توسط لئوناردو داوینچی، شناسایی عناصر تشکیل دهنده آب توسط پریستلی و لاوازیه وتعیین ارتباط بین بیماری وبا و آب چا ها، موجب زمینه سازی دانش‌های جدید و نظام مهندسی گوناگون در زمینه‌های آب گردید[2].

بنابراین گرچه در ابتدا تمامی حواس موجودات زنده به " کمیت " آب خلاصه می‌شد، ولی همواره انسان به آب تصفیه شده نیازمند بوده و با پیشرفته‌های به عمل آمده در علم شیمی شناسایی عناصر موجود درآب، "آنالیز آب" از بعد کیفی دارای اهمیت خاصی است، به طوری که امروز آب‌ها را باتوجه به " آنالیز" آن‌ها می‌شناسند و در این زمینه استانداردهای مختلفی تعریف شده است.

آب بیش از سه چهارم سطح کره زمین را پوشانده است. 97/2 ٪ از آب‌های موجود در این سیاره در اقیانوس‌ها و دریاها انباشته شده‌اند، لیکن تنها حدود ۲/۸ ٪ از آب‌های موجود قابل شرب می‌باشد. مقدار قابل توجهی از کل آب‌های سطح کره زمین به‌صورت مناطق قطبی، یخچال‌های طبیعی، رطوبت هوا و خاک می‌باشد که عملاً غیرقابل دسترسی‌است و تنها 0/62٪ از آن در رودخانه‌ها جاری بوده و یا به صورت دریاچه‌های آب شیرین و منابع زیرزمینی قرار گرفته‌اند و انسان‌ها آب آشامیدنی خود را از این منابع تأمین می‌نمایند. امروزه این منابع محدود آب شیرین قابل دسترس در معرض انواع آلودگی‌های میکروبی و شیمیائی قرار گرفته و آلاینده‌های فراوانی از طریق فاضلاب‌های صنعتی و کودهای شیمیائی منابع حیاتی انسان‌ها را به طور جدی تهدید می‌نماید.

آب طبیعی شامل ذرات جامد معلق، میکروارگانیسم‌ها و نمک‌های (یون های) حل شده و گازهای محلول می‌باشد. این مواد در آب منجر به مشکلات گوناگونی در سیستم‌های استفاده کننده از آب می‌شوند. در مورد آب آشامیدنی، ذرات جامد معلق و میکروارگانیسم ها، اثرات نامطلوبی بر سیستم انسان دارند.

در آب سیستم‌های خنک کننده و دیگ‌های بخار، مواد حل شدنی سخت، از جمله کلسیم کربنات می‌توانند به عنوان جرم روی سطوح انتقال دهنده حرارت و مبدل‌های گرمایی و دیگ‌های بخار قرار گیرند که در این حالت کارایی حرارتی کاهش می‌یابد. اکسیژن حل شده منجر به خوردگی فلزاتی می‌شود که این سیستم‌ها از آن‌ها تشکیل شده و عمر سرویس دهی آن‌ها را می‌کاهد. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند رشد کرده و باعث بیوفیلینگ روی سطوح لوله‌های مبدل‌های حرارتی شوند. حتی وقتی آب هایی با کیفیت مشابه استفاده می‌شوند، انواع مشکلات ایجاد شده توسط آب با توجه به نوع استفاده از آن و شرایط و فعالیت سیستم متفاوت خواهد بود. بنابراین استفاده از یک برنامه مناسب برای تصفیه آب برای جلوگیری از مشکلات حاصل غیر قابل اجتناب می‌باشد. انتخاب این برنامه باید به دقت صورت گیرد و عواملی چون کیفیت آب، نوع استفاده از آب، شرایط عملکرد سیستم و..... باید در نظر گرفته شود. در صنعت بسته به مورد استفاده از آب‌های صنعتی، برای تصفیه آب‌ها روش‌های مختلفی استفاده می‌نمایند[3].

شکل 1-1: دستگاه تصفیه آب خانگی

شکل 1-2: دستگاه تصفیه آب صنعتی

1-2- شیمی آب سخت:

وقتی آب باران به زمین می رسد معمولا دارای مقداری دی اکسید کربن به صورت محلول است وقتی در خاک فرو می رود به طبقات سنگ آهک و یا طبقات کلسیم کربنات ومنیزیم کربنات می رسد و مقداری از آنها را به صورت هیدروژن کربنات یا به اصطلاح بی کربنات در خود حل می کند. این آب که دارای

یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} به صورت محلول است آب سخت نامیده می‌شود.
املاح مربوط به کلسیم بی‌کربنات و منیزیم بی کربنات در آب را سختی موقت و املاح مربوط به سولفات، کلرید و نیترات کلسیم و منیزیم را سختی دائم می‌نامند. مجموع سختی دائم و موقت سختی کل آب را تشکیل می‌دهد.
مقدار سختی آب، علاوه بر اینکه در آبهای صنعتی اهمیت وافر دارد، از نظر بهداشت عمومی نیز اهمیت خاصی دارد. کلسیم که یکی از عوامل سختی آب است، در رشد استخوان و حفظ تعادل بدن دخالت داشته، ولی به همان اندازه، کلسیم سولفات به علت کمی قابلیت هضم، ناراحتی هایی در دستگاه هاضمه بوجود می‌آورد.
گاهی توصیه می‌شود که جهت تامین بهداشت و سلامت مصرف کنندگان، آهک به آب آشامیدنی افزوده شود. بعضی دانشمندان معتقدند، بهتر است کلسیم و منیزیم لازم بدن توسط غذا تامین شود و حتی‌الامکان از آبهای سبک برای شرب استفاده شود. باید توجه داشت که بدن نسبت به سنگینی موجود در آب مورد مصرف خود حساسیت دارد، چنانچه این نوشیدنی تغییر یابد، ممکن است در دستگاه گوارش ایجاد اخلال نماید و این موضوع را به اصطلاح آب به آب شدن می‌گویند [4].

1-3- کلسیم و منیزیم:

املاح کلسیم معمولی‌ترین املاح محلول آبهای طبیعی هستند ومنشأ آنها سنگهای آهکی، سنگهای گچی و کلسیم کلرید می‌باشد. سختی آبها مربوط به املاحی است که به طور خلاصه شامل کاتیونهایی از قبیل کلسیم، منیزیم، آهن، آلومینیم، منگنز، روی، استرنسیم می‌باشد که همراه با آنیونهای بی‌کربنات، سولفات، کلرید، سیلیکات ونیترات، محلول در آب است.
به طور معمول سختی آبها به املاح کلسیم و منیزیم گفته می‌شود و بر حسب کلسیم کربنات محاسبه و در گزارش نتیجه تجزیهٔ آبها منعکس می‌گردد.
کلسیم کربنات تا میزان یک میلی گرم در لیتر در آب حل می‌شود، ولی اگر آب گاز کربنیک داشته باشد به کلسیم بی‌کربنات تبدیل می‌شود وخیلی بیشترحل می‌گردد، به طوریکه تا یک گرم در لیتر ممکن است برسد[5].
کلسیم سولفات تا دو گرم در لیتر در آب محلول است و کلسیم کلرید آن قدر در آب حل می‌شود که خیلی قبل از حد اشباع آب را غیر قابل مصرف می‌کند.
کلسیم و منیزیم در آب بیشر به صورت بی‌کربنات وکلرید یافت می‌شوند.
وجود املاح کلسیم و منیزیم در آب آن را سنگین می‌کند، که به آن سنگینی تام می‌گویند. مقداری از سنگینی که در اثر جوشیدن کم می‌شود، سنگینی موقت یا سنگینی کربنات نامیده می‌شود و مربوط به بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم است.
سنگینی که پس از جوشیدن آب باقی می‌ماند، سنگینی دائم یا سنگینی غیر کربنات و مر بوط به سولفات‌ها،

کلریدها و نیترات‌های کلسیم ومنیزیم و آهن و غیره است.
سنگینی آب را به کمک محلول الکلی صابون اندازه می‌گیرند وهر چه صابون برای کف کردن آب بیشتری مصرف کند، آب سنگین‌تر است [6].
سختی کل: کل املاح کلسیم و منیزیم
سختی دائم: سولفات‌ها و کلریدهای کلسیم ومنیزیم محلول در آب
سختی موقت: اختلاف سختی کل و سختی دائم آب

شکل 1-3: درجه سختی آب

وضعیت آب	درجه سختی آب	میزان کربنات کلسیم در آب
خیلی سبک	۰_۳	۰_۵۰
سبک	۳_٦	۵۰_۱۰۰
نیمه سنگین	٦_۱۲	۱۰۰_۲۰۰
سنگین	۱۲_۱۸	۲۰۰_۳۰۰
خیلی سنگین	۱۸_۲۵	۳۰۰_٤۵۰
خیلی خیلی سنگین	بیش از ۲۵	بیش از ٤۵۰

1-4- مضرات آب سخت:

آب سخت برای مصرف در کارخانجات مناسب نیست. از مضرات آن ایجاد قشر آهکی بر روی جداره دیگ و خوردگی آن می‌شود.
سختی آب، عامل تشکیل رسوب در دیگهای بخار، مبدلهای حرارتی، برجهای خنک کننده و سیستمهای سرد کننده می‌باشد. اگر آب سخت برای شستشو به کار رود، صابون هدر می‌رود. در صنایع نساجی و رنگرزی کیفیت رنگ افت می‌کند. انحلال سود سوز آور در آب، منیزیم را به صورت منیزیم هیدروکسید رسوب می‌دهد. سختی بیش از حد باعث سوء هاضمه و بروز بیماریهای کلیوی می‌شود [7].

1-4-1- مضرات آب سخت در مصارف صنعتی:

آبهای سخت بویژه در مصارف صنعتی و تاسیساتی، مشکلات متعددی را به دلیل بالا بودن قابلیت رسوب گذاری و خورندگی ایجاد می‌کنند که مهمترین آنها به صورت زیر است[8].

1. تشدیدخوردگی و رسوب گذاری در تاسیسات حرارتی.
2. کاهش راندمان انتقال حرارت و افزایش مصرف بی‌رویه انرژی به دلیل وجود لایه‌های ضخیم

رسوبی.

3. ایجاد لکه و رسوبات سفید رنگ بر روی سطوح شیشه، فلز، پارچه، لباس و نظایر آن.
4. کاهش ظرفیت انتقال جریان آب در اثر تشکیل رسوبات سخت در جداره داخلی لوله‌ها و مخازن.
5. افزایش مصرف مواد شوینده به دلیل کاهش خاصیت کف کنندگی آنها در آب سخت

1-4-2- مضرات آب سخت در مصارف عمومی:

۱. ایجاد سوء هاضمه.

۲. کدر کردن آب جوش.

۳. گوارایی آب را کم میکند.

٤. دیر شدن پخت و پز به ویژه در مورد حبوبات و سبزیجات.

۵. سختی آب در واکنش با صابون، رسوبهایی ایجاد میکند که در منافذ پوست باقی می‌مانند و باعث زبری پوست میشوند.

٦. ایجاد رسوب و اتلاف انرژی در لوله و دستگاههایی که آب گرم دارند.

۷. مصرف پاک کننده بیشتر برای شستشو.

نمکهای کلسیم و منیزیم موجب سختی آب شده و در هنگام شست و شو تولید صابونهای نامحلول می‌کند که معمولاً از نوع اولئات‌ها و استئارات‌های کلسیم و منیزیم می‌باشند. صابونهای نامحلول حاصل در پارچه رسوب کرده و زیر دست را خشن میکند و از سوی دیگر به صورت نایکنواخت رسوب کرده و در نتیجه باعث نایکنواختی رنگرزی می‌شود. بعلاوه یونهای کلسیم و منیزیم میتوانند بعضی از رنگها را از محیط عمل خارج کرده و رسوب دهند[9].

1-5- درجه سختی آب:

درجه سختی آب را از روی مقدار کلسیم و منیزیم موجود در آن تعیین می‌کنند.

برای تعیین سریع سختی آب، کارخانه شیمیایی واقع در آلمان قرصهایی ساخته است. در یک لوله آزمایش مخصوص و مدرج، آب مورد آزمایش را تا خط نشان لوله پر می‌نمایند و به وسیله معرفی که همراه بسته قرصهاست رنگ این آب را قرمز می‌کنند و آنگاه آنقدر از این قرصها در آن می‌اندازند تا رنگ آب سبز گردد. شماره قرصهای ریخته شده در لوله آزمایش برابر درجه سختی آب می‌باشد. دقت این روش تا نیم درجه است. در ایران معمولا از کیت‌های خاصی استفاده می‌شود [10].

1-6- نحوه رفع سختی آب:

آب سخت آبی است که حاوی نمک‌های معدنی از قبیل ترکیبات کربنات‌های هیدروژنی کلسیم، منیزیم و ...

است. سختی آب بر دو نوع است: دایمی و موقت.

تغییرات سختی آب بر حسب آنکه آب در موقع نفوذ در زمین از قشرهای آهکی و منیزیمی و گچی گذشته و یا نگذشته باشد، کم یا زیاد می‌شود. آبهای نواحی آهکی، سختی زیادتری تا آبهای نواحی گرانیتی و یا شنی دارند. سختی آب در عرض سال هم ممکن است تغییر نماید. معمولاً سختی آبها در فصل باران کم و در فصل خشکی زیاد می‌شود[11].

جهت رفع سختی آب، تعداد زیادی مواد شیمیایی موجود است، که دارای سدیم کربنات هستند. این مواد را قبل از ورود آب، به دیگ‌ها اضافه می‌کنند. که باعث گرفتن سختی آب می‌شود. و یا در دیگ بر اثر افزودن این مواد، آهک و گچ را رسوب می‌دهند (باعث شناور شدن رسوب در آب دیگ می‌شود) و دیگر این رسوب، محکم به جدار دیگ نمی‌چسبد بطوری که می‌توان آنرا به آسانی پاک نمود. بهترین روش برای رفع سختی آب استفاده از یک میدان مغناطیسی است. که با مغناطیسی کردن آب از چسبیدن رسوبات به محل عبور آب جلوگیری میشود[12].

البته به یاد داشته باشید جهت خروج این رسوبات معلق شده در دیگ باید طبق یک برنامه زمان بندی شده و منظم اقداماتی از جمله زیرآب زدن به صورت مداوم تکرار شود.

برای برطرف کردن سختی موقت آب، با جوشاندن آن هیدروژن کربنات‌های محلول، به کلسیم نامحلول تبدیل شده و تشکیل رسوب می‌دهند. این رسوب در مناطق دارای آب سخت، درون دیگ‌ها دیده می‌شود. سختی دایمی آب را می‌توان با کمک نرم کننده‌های تبادل کننده یون، مانند پرموتیت[1] برطرف کرد. آبی که در طبیعت وجود دارد تقریباً همیشه ناخالص می‌باشد. زیرا اغلب دارای گچ، آهک، نمک طعام، ترکیبات منیزیم، آهن، اکسیژن و ازت، انیدرید کربنیک، ترکیبات آلی و غیره است، مقدار این ناخالصی‌ها در آبهای مناطق مختلف متفاوت است [13].

یکی از اجسام گیرنده سختی آب سدیم فسفات Na_3PO_4 می‌باشد. یون کلسیم موجود در آب بر اثر سدیم فسفات تبدیل به کلسیم فسفات $Ca_3(PO_4)_2$ می‌گردد و رسوب می‌نماید.

بر اثر جوشاندن کلسیم بی‌کربنات آب تبدیل به کلسیم کربنات می‌شود و رسوب می‌نماید،

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

وکلسیم بی‌کربنات آب، بر اثر سدیم کربنات، گچ وکلسیم بی‌کربنات، به کلسیم کربنات تبدیل می‌شود و رسوب می‌گردد:

$$Ca(HCO_3)_2 + CO_3Na_2 \rightarrow CaCO_3 + 2NaHCO_3$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

[1] . Permotit

متداول‌ترین روش جهت حذف سختی آب استفاده از دستگاههای سختی گیری نوع رزینی می‌باشد.
اساس کار دستگاههای سختی گیری نوع رزینی استفاده از فرایند تبادل یونی توسط رزین‌های کاتیونی می‌باشد. خواص رزین‌ها این است که وقتی در حضور آب سخت قرار می‌گیرند، یون سدیم آنها با یون‌های رسوب گذار از قبیل کلسیم و منیزیم موجود در آب جابجا می‌شوند. به این ترتیب با حذف املاح کلسیم و منیزیم کاملا محلول بوده و تمایلی به رسوب گذاری ندارد.
مبادله یون‌ها تا زمانی ادامه می‌یابد که همه سدیم رزین‌ها با کلسیم و منیزیم آب تعویض شوند، پس از این زمان، به تدریج بازده فرایند سختی گیری کاهش می‌یابد و رزین‌ها می‌بایست دوباره بازیابی و احیاء شوند.
احیاء مجدد این نوع رزین‌ها با عبور محلول غلیظ سدیم کلرید (نمک طعام) از بستر رزین انجام می‌پذیرد.
آب نرم خروجی از دستگاه سختی گیر برای تغذیه دیگهای بخار، برج‌های خنک کننده و سایر مصارف صنعتی، بسیار مطلوب می‌باشد.
مخازن دستگاههای سختی گیر از ورق فولادی با ضخامت مناسب طراحی و ساخته می‌شوند. این مخازن پس از زنگ زدایی کامل، توسط پوشش‌های ضد خوردگی از نوع اپوکسی رنگ آمیزی می‌گردند. هر دستگاه شامل دریچه بازدید، شبکه لوله کشی مجهز به شیر آلات، نازلهای ورودی و خروجی آب، اتصالات هواگیری، فشار سنج، مخزن پلی اتیلن نگهداری محلول احیاء، جزو متعلقات دستگاه می‌باشد. حداقل و حداکثر فشار کاری مناسب برای دستگاههای سختی گیر، به ترتیب 2و 5 اتمسفر می‌باشد.
اخیرا به مقدار زیاد از رزین‌ها که قادرند تعویض یون کنند، برای رفع سختی آب استفاده می‌کنند. رزین لواتیت[1] در آلمان و آمبرلیت[2] و دووکس[3] در آمریکا استعمال می‌گردد [14].
یکی از روش‌های کاستن درجه سختی آب، عوض کردن یون‌ها و متداول ترین آن روش پرموتیت است که در آن آب سخت را از صافی های سربسته تحت فشار می گذرانند. در این صافی ها، ذرات رزین از آلومینیم سیلیکات آبدار یعنی زئولیت[4] به صورت طبیعی و یا به صورت مصنوعی (پرموتیت) تشکیل می شوند.
زئولیت یک ماده معدنی است که عمدتا از آلومینوسیلیکات تشکیل شده و کاربرد تجاری عمده آن در صنایع به عنوان جاذب صنعتی است. زئولیت ها به طور گسترده ای در صنعت برای تصفیه آب، به عنوان کاتالیزور و برای تهیه مواد پیشرفته استفاده می شود. مهمترین استفاده زئولیت در تولید پاک کننده های لباس است. بسته به درجه سختی آبی که تصفیه می شود، زئولیت‌ها پس از مدتی خاصیت خود را از دست می دهند. با جریان آب نمک غلیظ می توان زئولیت را مجددا احیا و کارآمد ساخت [15].

[1] . Levatit
[2] . Amberlite
[3] . Dowex
[4] . Zeolit

شکل 1-4: رزین تبادل‌گر یونی

شکل 1-5: زئولیت

1-7- نرم کردن آب سخت :

آب سخت در لباس شویی بسیار زیان آور است زیرا رسوب چسبنده ی صابون را تلف می‌کند و به الیاف لباسها می‌چسبد. آبهایی که سختی موقت دارند و دارای یونهای HCO_3^- می‌باشند در اثر جوشاندن کلسیم کربنات به صورت یک پوشش محکم دیوار داخلی کتری را می گیرد ممکن است قطر این لایه آنقدر زیاد شود که در اثر خاصیت عایق بودن از انتقال حرارت کافی جلوگیری کند پس جوشاندن یکی از راههای نرم کردن آب سخت است که معادله ی واکنش به این صورت است:

$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2(g)$

از راههای دیگر برای رفع سختی یکی راسب کردن و دیگری عوض کردن یون است معمولا نوع سختی و مقدار آب نرم لازم را در نظر می گیرند و موثرترین و با صرفه ترین راه را انتخاب می کنند [16].

1-8- راسب کردن:

وقتی سدیم کربنات Na_2CO_3 به آب سخت اضافه شود رسوب حاصل از یونهای Ca^{2+} و Mg^{2+} به صورت کربنات غیر محلول ته نشین می شود. البته یونهای Na^+ که به آب اضافه می‌شود اشکالی برای صابون پدید نمی آورد [17].

$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3(s)$

افزودن یک محلول قلیایی مانند محلول آمونیاک یا آب آهک به آب سخت موقت مقداری یون OH^- به محلول می دهد که HCO_3^- را خنثی می کند و فلز مزاحم را به صورت کربنات راسب می کند و به همین علت پس از سیکل ازت به پتاسیم هیدروکسید احتیاج پیدا میکنیم.

$Mg^{2+} + HCO_3^- + OH^- \rightarrow MgCO_3(s) + H_2O$

عوامل راسب کننده ی دیگر مانند براکس[1] وسدیم فسفات هم در بعضی موارد مصرف می شوند. این هر دو جسم در اثر هیدرولیز محلول باز می‌دهند و فسفات غیر محلول کلسیم و منیزیم راسب می‌کنند [18].

1-9- تبادل یون:

پدیده تبادل یون[2] برای اولین بار در سال 1850 و به دنبال مشاهده توانایی خاک‌های زراعی در تعویض برخی از یون‌ها مثل آمونیوم با یون کلسیم و منیزیم موجود در ساختمان آنها گزارش شد. در سال 1870 با انجام آزمایش‌های متعددی ثابت شد که بعضی از کانیهای طبیعی بخصوص زئولیت‌ها واجد توانایی انجام تبادل یون هستند. در واقع به رزین‌های معدنی، زئولیت می‌گویند و این مواد یون‌های سختی آور آب (کلسیم و منیزیم) را حذف می‌کردند و به جای آن یون سدیم آزاد می‌کردند از اینرو به زئولیت‌های سدیمی مشهور شدند که استفاده از آن در تصفیه آب مزایای زیاد داشت چون احتیاج به مواد شیمیایی نبود و اثرات جانبی هم نداشتند.

اما زئولیت‌های سدیمی دارای محدودیتهایی بودند. این زئولیتها می‌توانستند فقط سدیم را جایگزین کلسیم و منیزیم محلول در آب نمایند و آنیونهایی از قبیل سولفات، کلرید و سیلیکات‌ها بدون تغییر

[1] . Borax
[2] . Ionic exchange